

А. А. Коренев*, С. В. Гриб

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*aleksandrkorenev1996@gmail.com

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук А. Г. Илларионов

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БИОСОВМЕСТИМЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ Ti–39Nb–xZr ($x = 5; 7; 9$ МАС. %)

Методами оптической микроскопии, рентгеноструктурного фазового анализа и микроиндентирования изучено влияние закалки из β -области на структуру, фазовый состав и физико-механические свойства горячедеформированных биосовместимых сплавов системы Ti–Nb–Zr.

Ключевые слова: биосовместимость, система Ti–Nb–Zr, закалка, микротвердость, фазовый состав, модуль упругости, микроструктура

A. A. Korenev, S. V. Grib

EFFECT OF QUENCHING ON THE FORMATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE BIOMEDICAL TITANIUM ALLOYS Ti–39Nb–xZr ($x = 5; 7; 9$ MAS. %)

Optical microscopy, x-ray diffraction phase analysis and micro-indentation methods have been used to study the effect of quenching from β -region on the structure, phase composition, physical and mechanical properties of hot-deformed biocompatible Ti–Nb–Zr alloys.

Key words: biocompatibility, Ti–Nb–Zr system, quenching, microhardness, Young's modulus, phase composition, microstructure

Титановые сплавы на базе системы Ti–Nb–Zr считаются наиболее привлекательными металлическими биоматериалами для различных биомедицинских и стоматологических применений [1]. Как правило, наибольший интерес представляют сплавы на основе β -твердого раствора титана с ОЦК-решеткой из-за более низкого модуля упругости, высокой пластичности, коррозионной стойкости по сравнению

с $(\alpha+\beta)$ -сплавами [2]. По данным литературных источников [2], основными легирующими элементами биосовместимых β -титановых сплавов являются ниобий, цирконий, которые биологически инертны и не вызывают аллергических реакций в организме. Ниобий является β -стабилизатором и повышает стабильность β -твердого раствора. Цирконий считается нейтральным упрочнителем, но в исследовании [3] отмечается, что он работает в качестве β -стабилизирующего элемента в сплавах системы Ti–Nb–Zr в широком диапазоне содержания циркония. Кроме того, β -стабилизирующий эффект циркония тесно связан с содержанием ниобия в сплавах, и его действие усиливается с увеличением содержания Nb.

В работе было исследовано влияние закалки из β -области на формирование структурно-фазового состава и физико-механических свойств биосовместимых титановых сплавов Ti–39Nb– x Zr ($x = 5, 7, 9$ мас. %). Исходно сплавы были подвергнуты горячей деформации в β -области. Далее была проведена закалка из β -области с последующим охлаждением в воде. Основными методами исследования были оптическая микроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ (РСФА) и микроиндентирование, позволяющее определять микротвердость и контактный модуль упругости.

Структура исходных горячедеформированных прутков представлена вытянутыми по направлению прокатки β -зернами. После закалки в сплавах наблюдается структура, состоящая из равноосных рекристаллизованных β -зерен.

Повышение содержания циркония в сплавах Ti–39Nb– x Zr приводит к увеличению размера зерна от 10 (Ti–39Nb–5Zr) до 16 мкм (Ti–39Nb–9Zr), которое можно связать с зафиксированным ранее в работе [4] уменьшением температуры полиморфного превращения сплава ($T_{\text{пп}}$).

Данные РСФА показали, что во всех сплавах после горячей деформации и закалки присутствует только β -фаза с ОЦК-решеткой. С увеличением содержания циркония как в горячедеформированных, так и в закаленных сплавах Ti–39Nb– x Zr период решетки β -фазы увеличивается от 0,3295 (Ti–39Nb–5Zr) до 0,3302 нм (сплав Ti–39Nb–9Zr) вследствие того, что цирконий имеет больший атомный радиус (0,16 нм), чем титан (0,146 нм) [5], способствуя увеличению расстояния между атомами в ОЦК-решетке.

Средние значения микротвердости в горячедеформированных сплавах по мере увеличения содержания циркония растут с 210 HV (при 5 мас. % Zr) до 225 HV (при 9 мас. % Zr) вследствие твердорастворного упрочнения. После закалки из-за развития процессов рекристаллизации, обеспечивающих уменьшение плотности дислокаций в горячедеформированных сплавах, их микротвердость снижается до 190 HV, 195 HV и 200 HV при 5; 7 и 9 мас. % Zr соответственно.

Значения контактного модуля упругости сплавов измерялись в поперечном сечении прутков. В горячедеформированном состоянии зафиксировали повышение среднего значения контактного модуля упругости с 66,5 ГПа до 71 ГПа при увеличении содержания циркония с сплавах с 5 до 9 мас. %. После закалки контактный модуль упругости в сплавах уменьшился по сравнению горячедеформированным состоянием, при этом минимальное значение модуля упругости 59 ГПа было получено в сплаве с 7 мас. % Zr, а в сплавах с 5 и 9 мас. % Zr его значения составили 65 и 66 ГПа соответственно.

Таким образом, закалка из β -области горячедеформированных сплавов Ti–39Nb–xZr способствовала получению в них рекристаллизованной β -структуры, снижению микротвердости и контактного модуля упругости. Повышение содержания циркония в закаленных сплавах системы Ti–39Nb–xZr с 5 до 9 мас. % приводит к росту размера рекристаллизованного β -зерна, периода решетки β -фазы, получению более высокой микротвердости, при этом минимальное значение контактного модуля упругости 59 ГПа было получено в закаленном сплаве Ti–39Nb–7Zr.

*Исследование выполнено по гранту при финансовой поддержке
Российского научного фонда (проект № 18–13–00220).*

Литература

1. Microstructure and mechanical characterization of biomedical Ti–Nb–Zr (–Ta) / L. M. Elias [et al.] // Materials Science and Engineering. A. V. 432. 2006. P. 108–112.
2. Ramezannejad A., Xu W., Qian M. Ni-free superelastic titanium alloys for medical and dental applications // Woodhead Publishing Series in Biomaterial. 2018. P. 591–611.
3. Phase stability change with Zr content in β -type Ti–Nb alloys / M. Abdel-Hady [et al.] // Scripta Materialia. 2007. V. 57. P. 1000–1003.

4. Illarionov A. G., Narugina I. V., Grib S. V. Temperature range definition of phase transformation in experimental biocompatible Ti–Nb–Zr system alloys by various methods // Materials Today: Proceedings. 2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.040>.

5. Новиков И. И., Розин К. М. Кристаллография и дефекты кристаллического строения решетки. М.: Металлургия, 1990. 336 с.